Experimentelle Untersuchungen über den Schwingungstypus und den Mechanismus der Stimmbänder bei der Falsettstimme

Dr. **L. Réthi,**

Privatdocenten für Laryngologie und Rhinologie an der k. k. Universität in Wien.

Aus dem physiologischen Institute der k. k. Universität in Wien.

(Mit 1 Tafel.)

Meine Untersuchungen über Stimmbandspannung, von denen ich in der 66. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien (1894) eine vorläufige Mittheilung machte, führten mich, bevor ich diese zum Abschluss bringen konnte, auf ein anderes, naheliegendes Gebiet, nämlich auf die Spannungsverhältnisse der Stimmbänder bei verschiedenen Phonationsvorgängen, insbesondere auf das Studium des Mechanismus und der Schwingungsform der Stimmbänder beim Falsett.

Die einschlägigen Untersuchungen zerfallen in drei Theile: in solche, die an Membranen, solche, die an todten menschlichen Kehlköpfen und solche, die am Lebenden vorgenommen wurden.

A. Was die an Membranen vorgenommenen Untersuchungen betrifft, so übergehe ich die ausführliche Darlegung der bei denselben gewonnenen Resultate und will nur das berühren, was für uns mit Bezug auf den menschlichen Kehlkopf von Interesse ist.

Spannt man auf ein Messingrohr an einem Ende desselben, das hier beiderseits schräg abfallend symmetrisch zugeschnitten ist, zwei Kautschukmembranen derart, dass sie nicht in einer

Ebene liegen, sondern unter einem Winkel von etwa 110° zusammenstossen und sich mit ihren freien Rändern fast berührend, in mässiger Spannung befinden und befestigt man sie mit einem Faden, den man in einigen Touren um das Rohr herumführt, so bekommt man einen der Spannung, der Länge und Dicke der schwingenden Membranen, sowie der Stärke des Anblasestromes entsprechenden Ton von dem Charakter eines Brusttones. Berührt man nun, wenn auch nur auf einer Seite, die Membran mit einem dünnen Stab nahe dem freien Rand, so bekommt man einen höheren Ton, der die Klangfarbe des Falsettons hat; ebenso wird der Brustton zu einem Falsetton, wenn man einen Faden dem Rande parallel auf die Membran auflegt und dann anlauten lässt und wird ein Faden wie beim Nähen an dieser Stelle durchgezogen, an beiden Seiten über eine Rolle gelegt und belastet, so bekommt man bei einem gewissen Grad der Belastung ebenfalls einen Falsetton, der im Allgemeinen mit der Belastung an Höhe zunimmt. Ich benützte ein Rohr von etwa 3 *cm* im Durchmesser und Membranen von etwa 1 *mm* Dicke; bei diesen entstand Falsett, wenn der Faden in einer Entfernung vom 1—4 *mm* vom freien Rande durchgezogen und beiderseits mit einem Gewichte von 150—200 *g* belastet wurde; je näher dem Rande, desto höher der Ton. Je 1 *mm* entsprach dabei näherungsweise dem Intervall eines Tones. Beim Durchziehen des Fadens nach aussen von dieser bezeichneten Partie — also 5 *mm* vom Rande entfernt — konnte wieder nur Brustton erzeugt werden.

Zur genaueren Beobachtung der Bewegung habe ich Quecksilber mit einer Leimlösung verrieben, auf die Oberfläche dünn aufgestrichen und die Bewegung der glänzenden Quecksilberkügelchen (Beleuchtung durch einen Auer'schen Brenner) durch ein mit einer Theilung versehenes Mikroskop beobachtet. Man sieht nun bei Brusttönen den Rand in lebhafter Auf- und Abwärtsbewegung; je weiter nach aussen, desto geringer wurde dieselbe. Beim Falsett sind die Bewegungen überhaupt geringer: an der Stelle, wo der Faden sich befindet, nahezu oder ganz Null, nach innen gegen den freien Rand ausgiebiger und nach aussen von demselben oft, aber nicht immer deutlich ausgesprochen, jedoch geringer als am freien Rand.

Ich habe bei verschiedener Belastung der Fäden, verschiedener Stärke des Anblasestromes untersucht, Gewichte direct auf die Membranen aufgelegt, gespannte Membranen auf dieselben aufgeklebt u. s. w. und auch die von Hubert[1] gefundenen Resultate theilweise wiedergefunden. Es geht jedoch nicht an, alle bei Membranen gewonnenen Ergebnisse auf den Kehlkopf zu übertragen, da es sich bei letzterem um ganz anders gebaute Gebilde handelt, die an verschiedenen Stellen und in ihren verschiedenen Schichten, in ihrer Resistenz und Elasticität zu wechseln im Stande sind und an denen sich Vorgänge abspielen, die wir künstlich nicht nachahmen können.

B. Der wirklichen Stimmbildung näher kommen die Versuche an todten menschlichen Kehlköpfen. Ich entfernte an herausgeschnittenen Kehlköpfen den Kehldeckel, die Taschenbänder, einen Theil des Schildknorpels oberhalb der Glottis, fixirte beide Arytaenoidknorpel mit Achtertouren, so dass sich die Stimmbänder nahezu berührten und band in die Luftröhre von unten her ein Glasrohr ein, das behufs besserer Fixirung vorerst mit einem Glasballon und dann mit einem Rohr zum Anblasen oder einem Blasetisch in Verbindung gebracht wurde. Die Kehlköpfe lassen sich in einer 10% wässerigen Chloralhydratlösung gut conserviren, ohne wesentlich zu schrumpfen, sie bleiben fast so geschmeidig und die Gewebe nahezu so weich wie im frischen Präparate; man kann sie viele Monate hindurch in gleicher Weise benützen. Bei längerer Dauer des Versuches müssen sie, damit sie nicht austrocknen, wiederholt befeuchtet werden. Doch was ich im Folgenden an Versuchsresultaten anführe, ist alles auch an frischen Leichenkehlköpfen gesehen worden.

Bläst man den so präparirten Kehlkopf an, so bekommt man einen Brustton; berührt man dabei mit einer Sonde das Stimmband nahe dem freien Rande, so entsteht ein hoher Ton,

---

[1] Hubert, Sur le mode de vibration des membranes et le rôle du muscle thyro-aryténoidièn. Comptes-rendus des séances de l'acad. des sc. 1891, CXII, p. 715.

und zwar ein Falsetton, ebenso wie an Kautschukmembranen. Er ist desto höher, je näher dem freien Rande berührt wird; ebenso bekommt man einen Falsetton durch Auflegen eines dünnen Stäbchens oder eines dem freien Rande parallel gespannten Fadens.

Um die durch die Contraction des M. thyreo-arytaenoideus internus s. vocalis bedingte Festigkeit des Stimmbandes nachzuahmen, habe ich durch das Stimmband der Länge nach von vorne nach hinten durch den Schildknorpel bis in die Arytaenoidknorpel je eine Nadel durchgestochen, die Stimme anlauten lassen und auch dabei Falsett bekommen; nur muss man darauf sehen, dass die Nadel dem freien Rande parallel eindringt und auch der oberen, beziehungsweise unteren Stimmbandfläche möglichst parallel verbleibt; ferner besonders, dass beim Durchstechen kein Druck nach innen oder ein Zug des freien Randes nach aussen stattfindet. Kehlköpfe mit verknöchertem Schildknorpel, bei denen das Durchstechen der Nadel nicht leicht möglich war, konnte ich nicht verwenden. Es ist nicht immer leicht, die Nadeln durch beide Stimmbänder symmetrisch durchzuführen, doch ist das nicht unbedingt nothwendig — es genügt oft sogar, nur das eine Stimmband entsprechend zu präpariren, d. h. nur eine Nadel einzustechen, weil sich das andere Stimmband, wenn die freien Ränder nicht zu weit von einander entfernt sind, dem präparirten Stimmband accommodirt. Wie Koschlakoff[1] zeigte, befinden sich Stimmbänder, »welche einfache Schwingungen ausführen. in bedeutender Abhängigkeit voneinander. Wenn wir die Spannung des einen Stimmbandes allmälig verstärken oder vermindern, so erhalten wir dadurch gewöhnlich keinen Doppelton. In beiden Fällen passt sich das Stimmband, dessen Spannung unverändert bleibt, dem anderen an.... Bei weit geöffneter Stimmritze und dünnen Bändern dagegen bekommt man von einander unabhängige Schwingungen, Polyphonie«.

---

[1] Koschlakoff, Über die Schwingungstypen der Stimmbänder. Arch. für die ges. Physiologie, 38. Bd., S. 428 u. ff.

Ich habe dann die blossgelegte obere Fläche der Stimmbänder, d. h. auch die äusseren, schon dem Sinus Morgagni angehörigen Partien eines so präparirten entweder frischen oder in Chloralhydrat conservirten Kehlkopfes mit feinem Broncestaub bestreut und die Bewegung der glänzenden Partikelchen während der Phonation mit dem Mikroskope beobachtet. Beim Brustton sieht man die in der Mitte der Stimmbandränder befindlichen Broncepartikelchen in grösster Auf- und Abwärtsbewegung, je weiter nach vorne oder nach aussen, desto geringer die Excursion und in der Nähe des Schildknorpels ist sie gleich Null. Beim Falsetton dagegen, den wir an einem mit Nadeln präparirten Kehlkopf bekommen, sieht man viel geringere Excursionen; auch sie sind innen, am Stimmbandrande am grössten, doch werden sie nach aussen rapid geringer und erreichen ihre Grenze rasch in einer dem freien Rande nahezu parallelen Linie. Von einer Knotenlinie und einer ausgiebigeren oder in entgegengesetztem Sinne stattfindenden Bewegung nach aussen hin — was ja zum Begriffe der Knotenlinie erforderlich — war nichts zu sehen.

Man bekommt aber nicht nur durch Fixirung der äusseren Partien der Stimmbänder und Verhinderung oder Erschwerung der Vibration, indem man eine Nadel einsticht oder einen Faden durchzieht, einen Falsetton, sondern auch durch starke Dehnung, d. h. Spannung der Stimmbänder, indem man den Kehlkopf seitlich zusammendrückt; dadurch werden die Stimmbänder in ihrer Hauptmasse ebenfalls weniger geeignet, grosse Excursionen zu machen und es scheinen ähnliche Bedingungen vorhanden zu sein, wie beim Durchziehen eines gespannten Fadens oder Einstechen einer Nadel.

Diese Falsettöne sind auch nach dem Gehör ganz gleich denen, die durch Einstechen einer Nadel erzeugt werden und verschieden von — gleich hohen — Brusttönen, die unter Verkürzung der Stimmritze dadurch erzeugt wurden, dass an verschiedenen Stellen der Stimmbänder der Quere nach ein Faden durchgezogen und dann geknüpft wurde. Dieser Ton ist ein hoher Brustton mit ausgiebigen Vibrationen, die sich weit nach aussen fortpflanzen.

Auf weitere Versuche an herausgeschnittenen menschlichen Kehlköpfen komme ich weiter unten noch einmal zu sprechen und gehe nun über auf

---

C. Die Untersuchungen am Lebenden. Diese Versuche habe ich mit der stroboskopischen Methode gemacht, wie dies schon Oertel und Koschlakoff gethan. Als Lichtquelle benützte ich eine elektrische Bogenlampe mit starker Sammellinse; das Auer'sche Licht erwies sich mir für diese Zwecke trotz Sammellinse zu schwach. Die stroboskopische Scheibe stellte ich zwischen Lichtquelle und Reflector und die Beobachtung geschah durch den Reflector hindurch direct oder mittelst Fernrohres. Die Scheibe, aus Messing, hatte einen Durchmesser von 30 *cm* und war am Rande mit 40 Bohrlöchern von je 0·5 *cm* Durchmesser versehen; sie wurde mittelst eines Heissluftmotors in Bewegung gesetzt und konnte bis zu 30 Umdrehungen in der Secunde machen. Die Geschwindigkeit wurde theils durch Auflegen des Transmissionriemens auf verschieden grosse Scheiben des Motors, theils durch Windflügel regulirt.

Das Licht fiel also intermittirend auf den Reflector auf, was bequemer ist, als das Object intermittirend zu verdecken. In der Höhe der Löcher war senkrecht auf die stroboskopische Scheibe ein Rohr angebracht, das mit einer Wasserpumpe in Verbindung stand, so dass beim Durchtreiben der Luft durch rasche und abwechselnde Unterbrechung des Luftstromes ein Ton entstand, also die Scheibe zugleich als Sirene diente. Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 (Tafel) leicht zu erkennen; als Object ist in der Abbildung ein präparirter menschlicher Kehlkopf *(a)* eingestellt.

Bei der laryngoskopischen Untersuchung singt der Untersuchte den Ton der Sirene nach oder letztere wird nach dem gesungenen Ton regulirt und wenn der Ton genau getroffen wird, so ist das Stimmband in der jeweiligen Ruheposition zu sehen, was aber stets nur für Secunden zu erreichen war; ist eine geringe Differenz in der Höhe zwischen dem gesungenen

Ton und dem der Sirene vorhanden, so sieht man dasselbe in langsamer Bewegung.

Beim Brustton sieht man nun ausgiebige Excursionen, die sich sichtbar bis auf die äusseren Partien der Stimmbänder hinaus erstrecken.

Beim Falsetton sah ich eine andere Bewegungsform, aber nicht eine solche, bei der innerhalb der vibrirenden Partie eine Zone vorhanden war, die in Ruhe verblieb und wie sie als Knotenlinie beschrieben wurde.

Schon früher wurde von Lehfeldt, J. Müller u. A. beobachtet, dass die Stimmbänder bei der Bruststimme als Ganzes und beim Falsett mit ihren Rändern schwingen; neuere und ausführliche Untersuchungen rühren von Oertel und Koschlakoff her. Oertel[1] sagt, dass bei der Falsettstimme das Stimmband in Theile abgetheilt ist, »welche in verschiedenen Bewegungen begriffen erscheinen. Es bildet sich, durch eine bogenförmige Linie deutlich abgegrenzt, eine Randzone, bei welcher wieder auf einem Querschnitt die Excursion der verschiedenen Punkte mit ihrer Entfernung von der äusseren Grenze dieser Zone zunimmt. Auf der breiteren, von dieser Begrenzung nach aussen gelegenen Fläche des Stimmbandes sind dagegen die mittelsten Punkte in grösster Auf- und Abwärtsbewegung begriffen, während die Excursion nach aussen gegen die Insertion des Bandes und nach innen gegen die Begrenzung der Randzone in gleicher Weise abnimmt und in der ganzen Linie selbst gleich Null wird. Das Stimmband ist durch eine Knotenlinie in zwei Theile getheilt. Werden die Töne erhöht, so sieht man die Länge der Stimmbänder durch stärkeres Aneinanderpressen der beiden Processus vocales sich verkürzen, indess die Randzone der zunehmenden Steigerung entsprechend sich immer mehr verschmälert; auf der Fläche des Bandes kann man unter günstiger Beleuchtung und exacter Intermission eine neue Differenzirung erkennen. Das Stimmband ist durch eine neue Knotenlinie in drei Theile

---

[1] Oertel, Über eine neue laryngoskopische Untersuchungsmethode des Kehlkopfes. Centralblatt für med. Wissenschaften, 1878. S. 81—82 und S. 99 bis 101.

zerlegt.« Das Stimmband wird nach Oertel durch sagittale Knotenlinien in Theile getheilt, analog dem Vorgange, wie ihn Carl Müller[1] an Membranen nachgewiesen hatte.

In einer zweiten Arbeit[2] fand Oertel im Wesen dasselbe; es bildet sich beim Falsett durch eine schwach ovale Linie eine schmale Randzone. Die Begrenzungslinie ist als Knotenlinie aufzufassen, welche das Stimmband in zwei ungleiche Theile theilt.

Die Endergebnisse dieser Untersuchungen wurden der Hauptsache nach von Koschlakoff[3] bestätigt, doch drückt sich dieser im Ganzen etwas reservirter aus. Von seinen Versuchen an todten Kehlköpfen sagt er: »Bei der Bildung des Brusttones schwingen die Stimmbänder mit ihrer ganzen Masse, bei der Bildung des Falsett jedoch schwingen bei jedem Stimmband deutlich nur schmale Streifen, welche der Stimmritze anliegen und von den peripheren Theilen durch eine Knotenlinie getrennt sind; eine Bewegung aber der peripheren Theile ist kaum bemerkbar. In Folge der schwachen Bewegung der peripheren Theile der Stimmbänder hält es schwer, sich von der entgegengesetzten Bewegung der Theile, welche zu beiden Seiten der Knotenlinie liegen, zu überzeugen. Die Anwendung der optischen Methode mit Streifen gelang mir in diesem Falle nicht«. Er zieht dann den Schluss: »Der ganze Unterschied liegt in beiden Fällen in den verschieden grossen Antheilen der Stimmbänder, welche schwingen«. Von den Untersuchungen am Lebenden sagt er: »Die Resultate meiner Untersuchungen stimmen einerseits im Ganzen und Grossen mit den von Oertel erhaltenen Resultaten überein. Bei den Falsettschwingungen führen deutliche Schwingungen nur schmale Streifen aus, welche der Stimmritze anliegen und von den peripheren Theilen durch eine Knotenlinie getrennt sind. Die peripheren Theile dagegen, welche hinter der Knotenlinie liegen, führen nur sehr schwache Bewegungen aus. Es war mir hier ebensowenig möglich, mich von den entgegengesetzten

---

[1] Carl Müller, Über einseitig freischwingende Membranen. Cassel 1877

Oertel, Das Laryngostroboskop und seine Anwendung in der Physik, Physiologie und Medicin. Arch. f. Laryngologie, III. Bd.

L.

Bewegungen der Theile, welche zu beiden Seiten der Knotenlinie liegen, zu überzeugen, wie bei den Untersuchungen an todten Kehlköpfen, weil« — wie er meint — »die Bewegungen der peripheren Theile auch hier sehr schwach waren und ihre bezügliche Lage für gute Beobachtung noch weniger günstig war, als bei Beobachtung an der Leiche«.

Es hat somit Koschlakoff, obwohl er im Anschluss an Oertel von Knotenlinien spricht, eine solche thatsächlich nicht gesehen, denn man kann von einer Knotenlinie doch erst dann sprechen, wenn auf beiden Seiten von ihr entgegengesetzte Bewegungen erkennbar sind. Auch gibt Oertel nicht an, wie sich in seinen Versuchen die Knotenlinie, beziehungsweise die Vibrationen beiderseits von derselben gezeigt haben, mit anderen Worten, woraus er auf die Schwingungen ausserhalb der Knotenlinie geschlossen hat. Er theilt nur mit, dass sich die Oberfläche nach auf- und abwärts bewegt hat und »dass das Stimmband in Theile abgetheilt ist, welche in verschiedener Bewegung begriffen erscheinen«.[1] Es ist doch zu bedenken, dass der Beschauer von oben auf das Stimmband blickt und eine Bewegung in dieser Blickrichtung, welche doch höchstens einige Zehntel eines Millimeters beträgt, aus physiologisch-optischen Gründen nicht erkennen kann. Unsere Tiefenwahrnehmung ist eben keine so genaue. Am freien Rande des Stimmbandes erkennt man die Bewegung durch die paralaktische Verschiebung. Dreht sich derselbe doch um die recht nahe gelegene ruhende Zone im Bogen. Was man von dieser Bewegung sieht, ist die seitliche Verschiebung, in der sich die Bogenbewegung auf die Ebene der Stimmbänder projicirt. Dass der freie Rand nach aufwärts und abwärts schwingt, wird erst aus der direct gesehenen seitlichen Bewegung, eventuell auch aus der Vertheilung von Licht und Schatten erkannt. Woran nun das Auf- und Abwärtsschwingen der lateral von der Knotenlinie liegenden Stimmbändertheile zu erkennen ist, wird von Oertel nicht mitgetheilt. Ich habe mich ernstlich bemüht, am Kehlkopf eine solche Bewegung aufzufinden, die in Analogie mit den in Knotenlinien schwingenden

---

[1] L. c. S. 12.

Membranen (auf welche man, um die Schwingungen zu sehen, die Axe des Mikroskopes geneigt einstellen muss, so dass die Lichtpunkte im Sehfelde seitliche Verschiebungen machen) ein werthvoller Fortschritt in unserer Erkenntniss wäre, aber leider ohne Erfolg.

Ich habe also eine Knotenlinie nicht gesehen, wohl aber eine Erscheinung, welche möglicherweise eine solche vortäuschen konnte. Wenn man den lebenden Kehlkopf den Ton der Sirene möglichst genau singen lässt, so sieht man den freien Rand des Stimmbandes nach aufwärts schwingen, dann rückt die Schärfe dieses Randes aber als eine Kante nach aussen, während der freie Rand wieder abwärts geht, und diese Kante läuft, indem sie allmälig verstreicht, eine kurze Strecke weit lateralwärts ab.

Die Fig. 2 der Tafel zeigt als schematischen Durchschnitt des Stimmbandes das Fortschreiten der Kante vom freien Rande *a* nach aussen *b* in den aufeinanderfolgenden Momenten 1—5. Die Theorie der stroboskopischen Erscheinungen ergibt sofort, dass bei einer gewissen Frequenz der Intermissionen das Stimmband dauernd in der Stellung 3 gesehen werden kann, und dann liegt der Gedanke an eine Knotenlinie in der That sehr nahe. Dass aber eine solche nicht besteht, erhellt daraus, dass die Kante bei der geringsten Änderung der Frequenz wandert und ihre scheinbare Geschwindigkeit mit der Grösse dieser Änderung zunimmt.

Ebenso ergibt sich aus der Natur der Stroboskopie, dass die gesehene Bewegung dieser Kante von innen nach aussen oder von aussen nach innen gerichtet ist, je nach kleinen Variationen in der Belichtungsfrequenz.

Diese wellenförmige Bewegung endete nach aussen etwa über der äusseren Partie des M. vocalis, dort, wo ich das Aufhören der Vibration beim präparirten, mit Broncestaub bestreuten todten Kehlkopf mittelst Mikroskopes constatirt habe.

Ich hatte anfangs ebenfalls den Eindruck einer Knotenlinie und ein solcher Irrthum ist möglich bei Beobachtung von oben, da man sich am Lebenden eine seitliche Beleuchtung nicht verschaffen kann, und erst bei genauerer Untersuchung,

stärkerer Beleuchtung und namentlich erst nachdem ich die stroboskopische Scheibe auch am todten Kehlkopf anwandte, bei dem eine seitliche Beleuchtung möglich ist, konnte ich die Erscheinung richtig deuten und die sich markirende Linie als eine über die Oberfläche des Stimmbandes fortschreitende Kante erkennen. Der Weg, den sie zurücklegt, ist, wie ersichtlich, sehr kurz, doch konnte ich die Erscheinung am lebenden Kehlkopf regelmässig sehen, bei tieferen Falsettönen deutlicher als bei hohen; auch gelang es mir, sie an meinem eigenen Kehlkopf (mittelst Autolaryngoskopie) zu beobachten und anderen zu demonstriren.

In der Befürchtung, dass sich nicht leicht ein Experimentator entschliessen wird, sich die ganze stroboskopische Versuchsanordnung wieder zusammenzustellen, um sich von der Richtigkeit der Beobachtung zu überzeugen, habe ich versucht, Photographien als Zeugen beizuschaffen: Momentaufnahmen des todten Kehlkopfes, der beim Anlauten Fistelstimme gab.

Wie so oft, hat auch hier die Photographie nur andeutungsweise das wiedergegeben, was im Originale so augenfällig ist. Trotzdem sieht man in Fig. 3 an beiden Stimmbändern die schärfer beleuchtete Kante mit genügender Deutlichkeit sich von der dunkleren Umgebung abheben. Das aufgenommene Stadium entspricht näherungsweise dem Momente 3 der Fig. 2. Demnach ist der freie Rand des linken Stimmbandes schon im Schatten (das Licht kommt von links) und die stark erhellte Kante setzt sich gut gegen den inneren Theil des Stimmbandes ab. Am rechten Stimmbande ist die Kante *b* in ihrem inneren Antheile scharf beleuchtet und ihre nach aussen abfallende Fläche liegt im Schatten *c*. Man denke sich diese Linien von innen nach aussen ablaufen, so wird man eine Vorstellung von dem eigenthümlichen Bilde haben, das der Kehlkopf, während die photographische Aufnahme gemacht wurde, dem freien Auge bot. Und dasselbe Bild bekommt man auch, wenn auch in weniger günstiger Beleuchtung am lebenden Kehlkopf.

Von einer Knotenlinie, d. h. einer Linie, die sich in Ruhe befindet und den, von dieser Stelle nach aussen und innen befindlichen und in entgegengesetztem

Sinne schwingenden Partien habe ich nie etwas gesehen.

Die geschilderten Wellen waren nie beim Brustton, weder beim Lebenden noch am todten Kehlkopf zu sehen. Nun bekommt man aber am todten Kehlkopf Falsett nicht nur beim Einstechen von Nadeln, sondern auch bei seitlicher Compression des Kehlkopfes und starker Spannung der Stimmbänder; und da auch bei dem auf diese Weise erzeugten Falsett dasselbe Bild zu Tage tritt, so handelt es sich hier um eine Schwingungsform, die durch das Fester- und Gespannterwerden des Stimmbandinneren — in einem Falle durch die Nadel, im zweiten durch Dehnung des Stimmbandes — erzeugt wird. Diese wellenförmige Bewegung pflanzt sich in der weichen Substanz des Stimmbandes an der Oberfläche desselben fort und es ist natürlich, dass eine solche Bewegung nur an wirklichen Kehlköpfen und nie an Modellen zur Ansicht gebracht werden kann.

Wenn die Stimmbänder nach einiger Zeit trotz Chloralhydrat etwas steifer werden, so bekommt man eben aus diesem Grunde auch ohne künstliche Nachhilfe, ohne Nadeln und ohne seitliche Compression des Kehlkopfes, hauptsächlich Falsettöne und relativ selten Bursttöne.

Und nun noch einige Bemerkungen über den Mechanismus der Fistelstimme. Bei der Bruststimme bildet die Glottis einen langelliptischen und haarfeinen Spalt und es contrahiren sich sämmtliche Schliesser und Spanner. Durch die Contraction des M. crico-arytaenoideus lateralis, thyreo-arytaenoideus externus und internus werden die gesammten Massen der Stimmbänder nach der Mitte hingedrängt und es entstehen relativ dicke und breite Stimmlippen. Bei der Fistelstimme ist der Kehlkopf von vorne nach hinten verlängert, die Gebilde gedehnt, die Glottis hinten fest geschlossen, vorne dagegen ziemlich weit. Die Stimmbänder sind länger und schmäler als bei der Bruststimme und ihre Ränder sind dünner, die innere Kante springt scharf vor und bei der Durchleuchtung erscheinen sie verdünnt. — Störk.[1]

---

[1] Störk, Klinik der Kehlkopfkrankheiten.

Es wird nun allgemein angenommen, dass beim Falsett der M. crico-arytaenoideus lateralis, thyreo-arytaenoideus externus und internus relativ schlaff sind, während der M. crico-thyreoideus in starker Action ist, wodurch die Stimmbänder dünner werden.

Aus den vorstehenden Untersuchungen geht hervor, dass das Wesentliche bei der Entstehung der Falsettstimme die eigenthümliche Schwingungsweise der Stimmbänder ist, die erstens dadurch charakterisirt wird, dass überhaupt nur eine, wenige Millimeter breite Strecke am freien Rande des Stimmbandes schwingt,[1] und zweitens dadurch, dass jede Schwingung des eigentlichsten freien Randes sich als allmälig abklingende Welle über die Oberfläche eine kurze Strecke weit fortsetzt.

Bedingt ist diese eigenthümliche Schwingungsart nach den Ergebnissen der mitgetheilten Versuche durch eine gesteigerte Resistenz des Stimmbandes in der Gegend des M. thyreo-arytaenoideus internus bei bedeutender Dehnung der elastischen Gebilde in seiner Umgebung. Wir werden uns vorzustellen haben, dass im Leben bisweilen vielleicht schon die bedeutende Dehnung der Stimmbänder ausreicht, sie durch Spannung hinlänglich resistent zu machen, in der Regel aber wird wohl diese Resistenz durch die Action (nicht Contraction) des M. thyreo-arytaenoideus internus bedingt sein. Dabei haben wir uns den M. thyreo-arytaenoideus externus erschlafft zu denken, so dass der schwache, ohnehin schon gedehnte M. thyreo-arytaenoideus internus seine Insertionsstellen zwar nicht nähern, sich also nicht contrahiren kann, wohl aber wird er sich activ spannen, somit die Schwingungen erschweren. Er bewirkt dasselbe, was ich durch das Einführen der Nadeln in seinem Verlaufe am todten Kehlkopf erreicht habe. Dass man auch ohne diese durch hinlänglich starke Spannung der Stimmbänder an der Leiche Fistelstimme erzeugen kann (seitliches Zusammen-

---

[1] Es muss hervorgehoben werden, dass in gewissem Sinne sich die Schwingungen viel weiter fortpflanzen; spürt man sie doch mit dem aufgelegten Finger an der den Kehlkopf bedeckenden Haut, wie Jeder an sich fühlen kann. Von Vibrationen in diesem Sinne ist hier natürlich nicht die Rede.

pressen des Kehlkopfes oder entgegengesetzter Zug am Giessbeckenknorpel und Schildknorpel), lässt es als möglich erscheinen, dass dies, wie oben gesagt, auch im Leben geschehen kann.

Gegen die Annahme, dass der M. thyreo-arytaenoideus int. beim Falsett gespannt ist, wird die Weite der Stimmritze und der excavirte Rand angeführt.

Was jedoch die Weite der Stimmritze bei verschiedenen Registern betrifft, so lässt sich dieselbe beim Brust- und beim Falsetton nicht ohneweiteres vergleichen; man muss die Stimmritze bei den relativen mittleren Tönen im jeweiligen Register vergleichen und da kann man nun nicht behaupten, dass die Stimmritze beim Falsett immer breit ist. Sie ist es bei einer gewissen Art der Fistelstimme, der sogenannten Mittel- oder Zwischenstimme (von Merkel und Rossbach entgegen dem allgemeinen Sprachgebrauch Kopfstimme genannt), aber bei der hohen, der eigentlichen Falsettstimme ist sie im Gegentheil eng, enger als bei der Bruststimme.

Bei diesen letzteren, den hohen Falsettönen, muss angenommen werden, dass der M. thyreo-arytaenoideus internus stark gespannt ist und dass der M. crico-thyreoideus im Vereine mit den anderen zum Theile als Spanner functionirenden Muskeln den Widerstand desselben überwindet und das Stimmband resistenter macht. Ich habe am todten Kehlkopf den Spannungsgrad des Stimmbandes und der demselben anliegenden äusseren Partien während der beiden Register untersucht und gefunden, dass derselbe am Stimmband beim Falsett ein viel grösserer ist, als beim Brustton und dass sich dagegen die dem Stimmbande aussen anliegenden Partien diesbezüglich gleich verhalten. Es gelang mir auch am Lebenden durch Eingehen mit der Sonde mich von demselben Verhalten des Stimmbandes zu überzeugen, wenn es auch schwer ist, die äusseren, schon dem Sinus Morgagni angehörigen Partien — trotzdem in dem untersuchten Falle das Taschenband sehr mager war — abzutasten. Mit Sicherheit konnte aber auch hier die stärkere Spannung, der grössere Widerstand des Stimmbandes beim Falsett der Sonde gegenüber constatirt werden und bei der

grösseren Härte des Stimmbandes sollte der M. thyreo-arytaenoideus internus schlaffer sein?

Es ist jedoch wahrscheinlich, dass der M. thyreo-arytaenoideus internus auch bei den tieferen Falsett tönen gespannt ist und das Stimmband nur desshalb excavirt erscheint, weil der M. thyreo-arytaenoideus externus relativ schlaff ist. Indem sich die Ansatzstellen dieses Muskels bei Contraction des M. crico-thyreoideus von einander entfernen, wird derselbe dünner und er rückt, da er lateral angewachsen ist, mit seinen mittleren Partien nach aussen, so dass das Stimmband, auch wenn der M. thyreo-arytaenoideus internus in Action ist, in seiner Mitte nach aussen verzogen und sichelförmig excavirt wird, wobei der Rand scharf bleibt. Dies lässt sich an einem Modell gut demonstriren, indem man eine Kautschukmembran mit einer Spalte versieht und in der Richtung dieser Spalte dehnt; die Spalte wird dabei breiter. Das Schmälerwerden der Glottis bei hohen Falsettönen liesse sich aus der stärkeren Action des M. vocalis und crico-thyreoideus vielleicht zur Genüge erklären.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1.

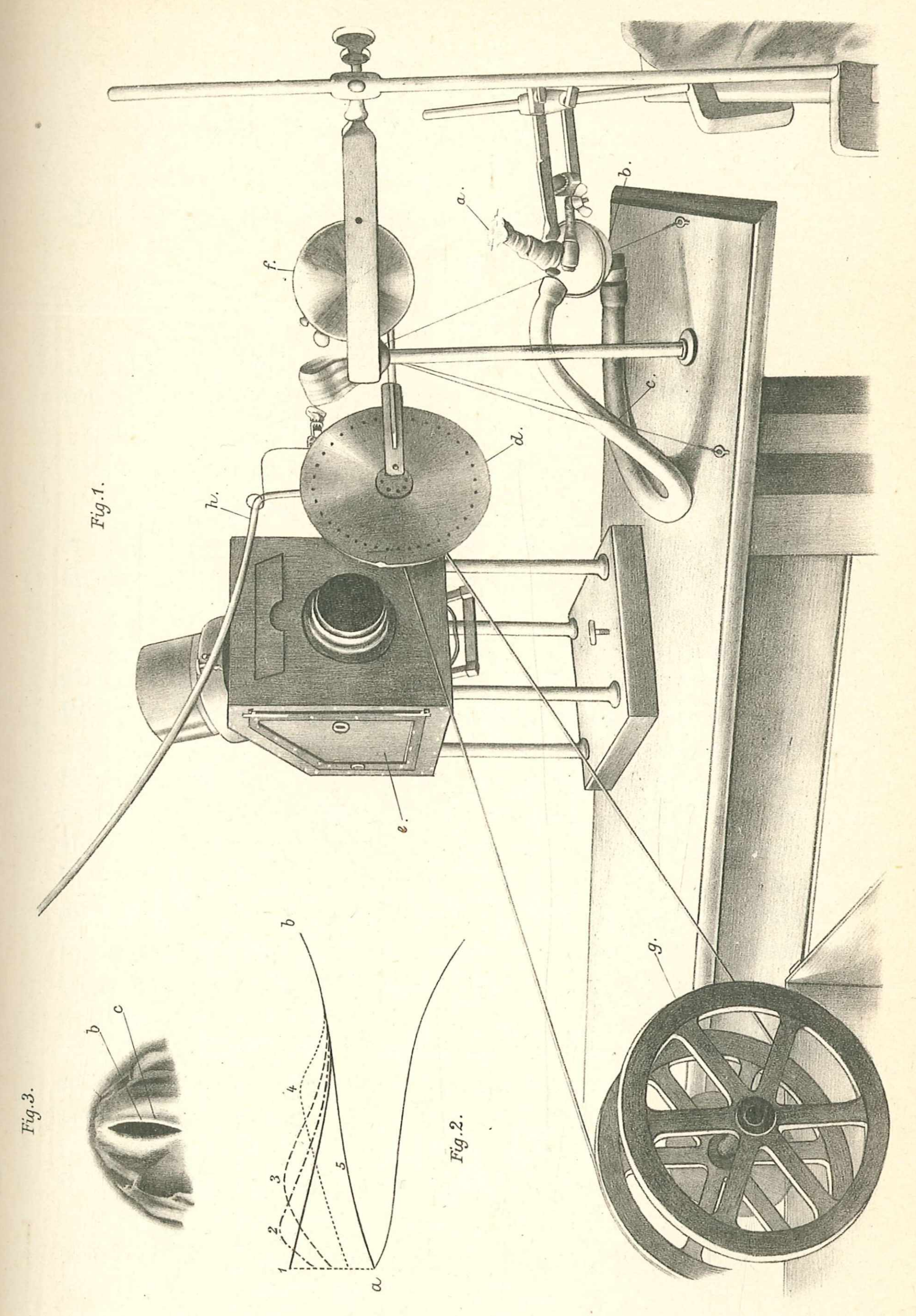
a Herausgeschnittener menschlicher Kehlkopf.
b Glasballon.
c Anblaserohr.
d Stroboskopische Scheibe.
e Elektrische Bogenlampe.
f Reflector.
g Heissluftmotor.
h Schlauch von der Wasserpumpe zum Durchtreiben von Luft.

Fig. 2.

Schematischer Durchschnitt des Stimmbandes.
a Freier Rand desselben.
ab Obere Fläche in der Ruhelage 5.
1. Im Stadium der grössten Excursion.
2—4. Der freie Rand bewegt sich nach abwärts; die nach aussen ablaufende Kante wird immer flacher.

Fig. 3.

Herausgeschnittener menschlicher Kehlkopf. Taschenbänder und ein Theil des Schildknorpels entfernt. Beleuchtung von links. Rechts ist die Kante *b* von innen her, von links, stark beleuchtet, ebenso der freie Stimmbandrand und die Kante wirft den Schatten *c* nach aussen; am linken Simmband ist die Kante von aussen her, auch von links, erhellt und diese wirft den Schatten nach innen auf den freien Stimmbandrand.



Autor del.

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.